沖縄県立教育センター　研修報告集録　第29集（2-2）311-320　2001年3月

＜通信・制御＞

ＦＡ（Factory　Automation）システムの活用
―― シーケンサを利用した制御実習手引書の作成 ――

県立那覇工業高等学校教諭　上　原　章　作

Ⅰ　テーマ設定の理由

高度情報通信社会の今日，産業界を取り巻く環境は，技術の進歩，シェアーのグローバル化，通信・制御の高度化など，急激な変化や進歩がみられる。これら工業技術の目覚しい発展により，その環境は従来の職人による手作業・機械作業からオートメーション化へと変化してきた。それによって製品の均一化や大量生産を目指すコンピュータ制御が必要不可欠となり，直接機械を操作する時代から生産性の高い工場を目指す，生産の自動化・無人化を図るＦＡ（Factory　Automation）が注目をあびるようになった。それと同時にあらゆる分野においても，コンピュータ等を利用してのシーケンス制御が幅広く用いられるようになった。このような産業界の急激な変化や進歩に対応すべく工業教育の分野においてもコンピュータの活用が不可欠となっている。

新学習指導要領における工業の目標によると「工業の各分野に関する基礎的・基本的な知識と技術を習得させ，現代社会における工業の意義や役割を理解させるとともに，環境に配慮しつつ,工業技術の諸問題を主体的,合理的に解決し,社会の発展を図る創造的な能力と実践的な態度を育てる。」が示され，また科目「実習」の目標においては「工業の各分野に関する基礎的な技術を実際の作業を通して総合的に習得させ，技術革新に主体的に対応できる能力と態度を育てる。」が示されている。

本県では，現在すべての工業高校にコンピュータやＦＡシステムが導入されるなど，情報通信・制御に関する教育がすすめられ，産業界の担い手となる人材育成のために施設・設備の充実が図られている。

本校においても，平成11年度のＦＡシステムの導入により，施設・設備の充実が図られた。今後は，社会の変化や産業の動向などに適切に対応した教育の展開が必要である。

そこで，新システム導入後の科目「実習」における制御分野での学習においては引き続き技術の基礎・基本を重視しつつ，生徒が効率よく学習し，理解を深められるような実習手引書の作成が必要である。また，より専門的な学習を進めることにより，卒業後の進路について生徒の意識を高めるきっかけとなるよう本テーマを設定した。

加えて，この研修を通して専門教育における「産業用コンピュータの利用」について認識を深め,産業機械のコンピュータに関する知識と技術を習得し，力量を高め，指導力と実践力を備えたい。

Ⅱ　研究内容

1　研究項目

(1)　シーケンサについての基礎学習
(2)　プログラミングソフトの基礎学習および操作
(3)　ＦＡのための制御と動特性についての学習
(4)　ラダー図の基礎学習および作成
(5)　シーケンス命令の学習および基本回路の学習
(6)　プログラム学習および作成
(7)　実習手引書の作成

2　ＦＡシステムの基本構成

ＦＡシステムの基本は
①コントローラに信号を与える「センサ部」
②アクチュエータを制御する「コントローラ部」
③メカニズムを駆動する「アクチュエータ部」
④ツールに運動を伝達する「メカニズム部」
⑤ワークを掴む「ツール部」
で構成されている。その基本構成図を図1に示す。

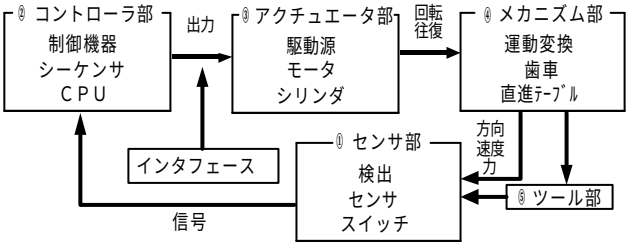


図1　ＦＡシステムの基本構成図

３　ＰＣ（Programmable Controller）について

(1)　　ＰＣの基本構成

ＰＣは多数のリレーやタイマ，カウンタ機能を内蔵しており，入出力部と電源部を持ち，マイクロコンピュータとメモリを中心とした電子装置である。図２にＰＣの構成図を示す。

(2)　　ＰＣ内部のデータ処理の流れ

ＰＣ内部においては最初に，すべてのリレーデータをメモリ内に読み込み，続いてプログラムの内容に従い演算が行われる。

次に，演算を行った後すべてのリレーについてそれぞれの結果が出力される。

その後，再び最初に戻り新しくなったデータをすべて読み込み上記の行程が繰り返され，途中新しいデータが割り込むとそのデータに基づいて処理がなされる。

ＰＣが動作中，継続してこれらの処理が繰り返される。図３に処理の流れを示す。

(3)　　ＰＣ利用による利便性

ＰＣを使用しての制御実習においては，対象物を制御するプログラムをソフト上で作成しそれを転送して使用する。

プログラミングソフトの使用により以前のようなリレーの組み合わせによるハード的なシーケンス回路作成法からパソコン上でのプログラミングによるソフト的な回路作成法となった。以下にプログラミングソフト画面(図４)及びその特徴を示す。

① プログラムの作成･編集がプログラミングソフト上での取り扱いにより，容易になった。

② ＰＣによる動作確認や回路入力図画面，リスト表示画面のプログラムチェックにおいてプログラムのエラーチェックが簡単にできる。

③ コメント入力画面によりプログラムのコメント入力も可能で，学習においてもプログラム理解が効率的に行われる。

④ プログラミングソフトを使用してプログラム作成を行うことにより幾つもの制御パターンのプログラム保存が容易になった。

⑤ パソコン上での処理であるので，データ保存やネットワーク上でのデータ転送も可能となった。

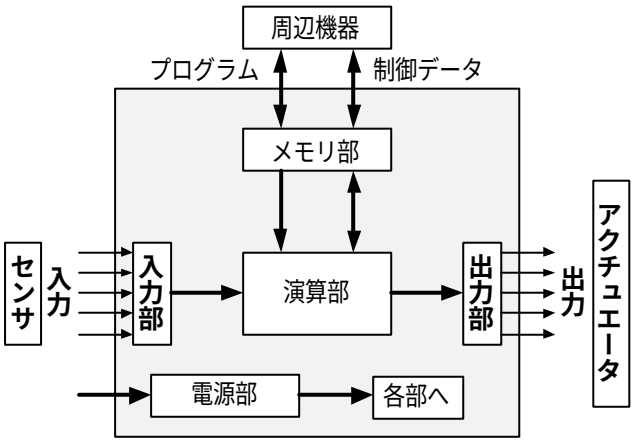


図２　ＰＣの構成図

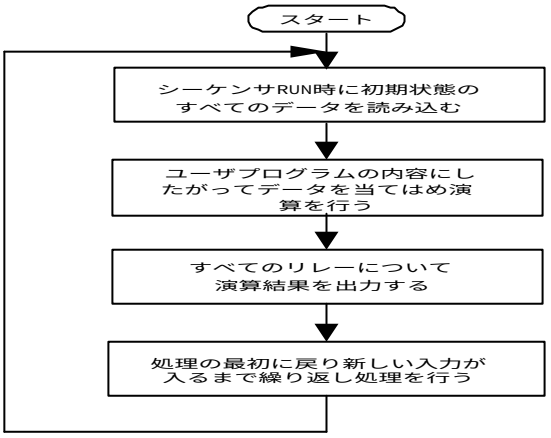


図３　ＰＣ内のデータ処理の流れ

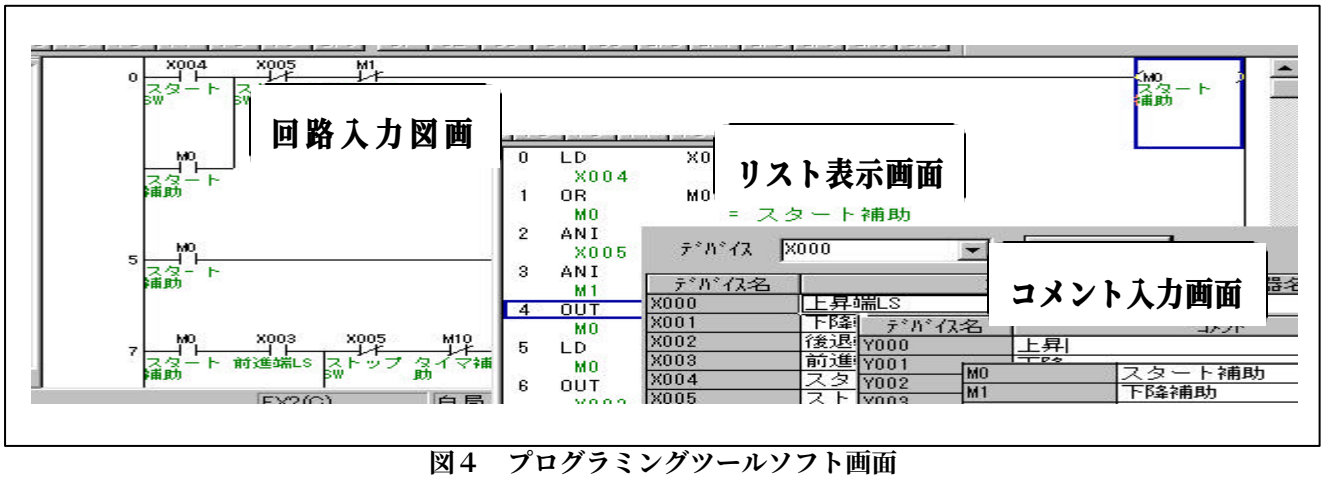


図４　プログラミングツールソフト画面

4　基本的回路・禁止回路について
（三菱 FX シリーズシーケンサ使用）

(1)　基本的回路

①　自己保持回路

出力コイルと同じ接点を１つの回路ブロックの中で OR 接点に使い，出力コイル Y1 が ON すると同一接点 Y1 が動作し，この接点が動作することで出力コイルが ON し続けることを自己保持するという。回路２は補助リレーを使って表した例で複雑な条件下での制御では応用性があり便利である。

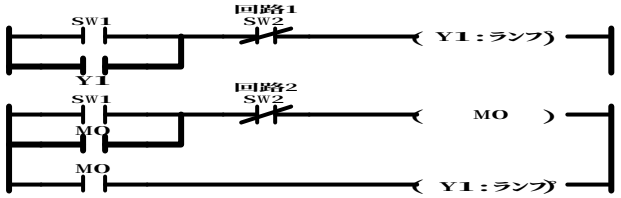


図５　自己保持回路

②　タイマ回路

タイマはコイルが駆動してから計時を開始する。タイマのカウント数が設定値に達した（タイムアップ）時にタイマ接点(T0)が動作する。回路 1 はａ接点，回路 2 はｂ接点動作の例である。

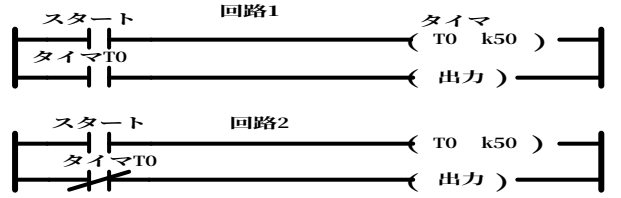


図６　タイマ回路

③　カウンタ回路

カウンタはコイルが駆動（OFF→ON の立ち上がり）時に１回カウントされ，設定値に達した（カウントアップ）時にカウンタ接点(C0)が動作する。リセット入力(RST)が ON されるとカウント数がリセットされカウント接点は元の状態に戻る。回路 1 はａ接点，回路 2 はｂ接点動作の例である。

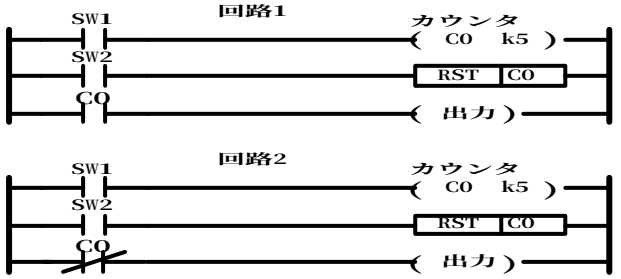


図７　カウンタ回路

④　インタロック回路

自動販売機など，複数の中で一番早くアクションを起こしたものが優先され後のものは無効とされる回路を作成するとき，他の回路を遮断して信号を止めることをインタロックといい，プログラムの安全性や確実性を高める上で必ず必要となる回路である。つまり Y1 が出力の時 Y2 は OFF，Y1 が OFF の時 Y2 は出力となる。

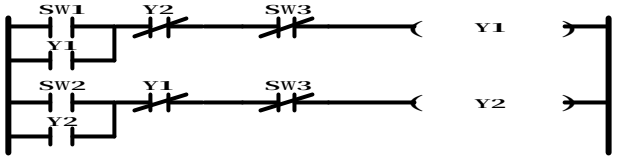


図８　インタロック回路

(2)　禁止回路の対策

禁止回路とは回路接続上，許可されていない回路接続の仕方であり，以下に示した例において左側の回路接続となった場合は，右側のように回路の変更を行う。

①　橋渡し回路

両方向に電流を流さない。

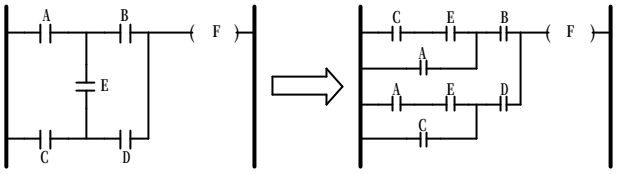


図９　橋渡し回路

②　分岐出力

分岐後に接点を通じ駆動されるコイルが２個以上ある場合は右図の様に変更するか MPS 命令を用いる。

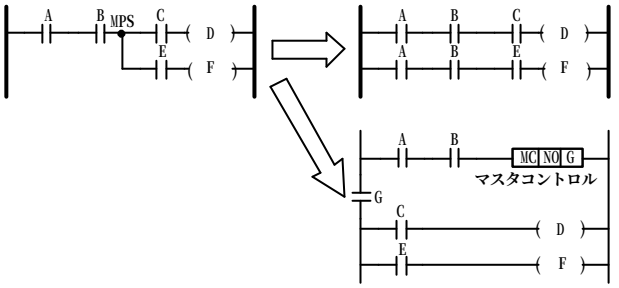


図 10　分岐出力

③　二重出力

二重出力の場合、後側の動作が優先される。

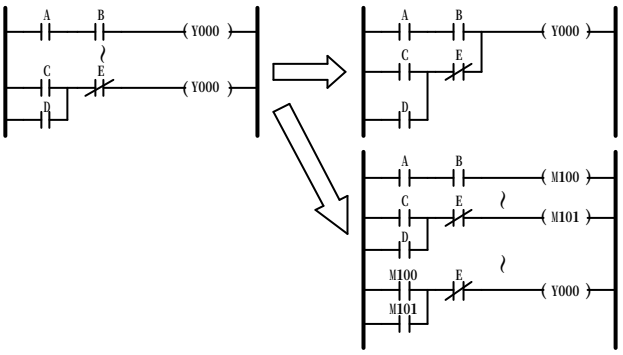


図 11　二重出力

5　基本シーケンス命令

シーケンサにおいては特殊な働きをするリレーなど数多くあるが，ここでは図 12 に通常頻繁に使われる母線接続命令や，コイル駆動命令など 20 種類の基本シーケンス命令を示す。

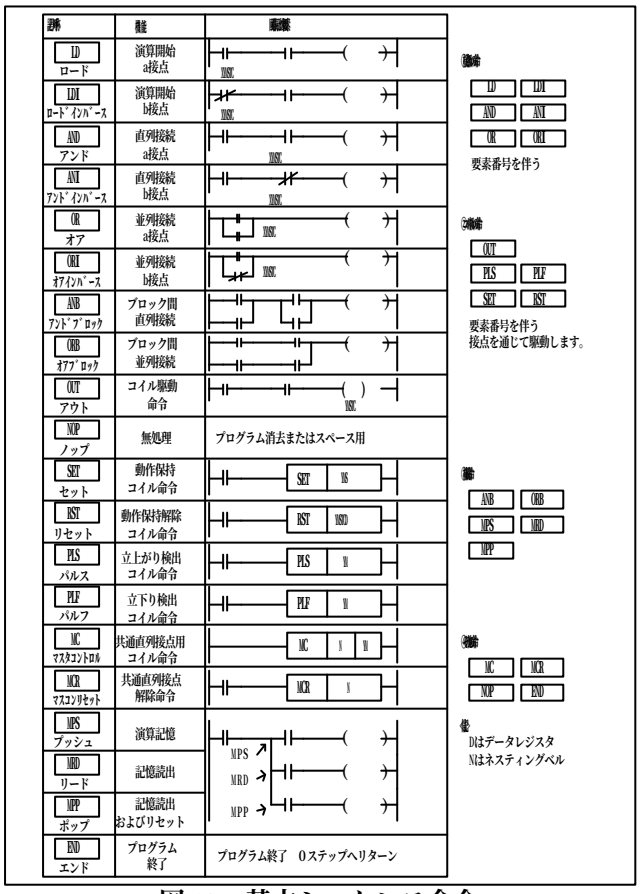


図 12　基本シーケンス命令

6　本校電気科における制御実習について

平成 11 年度までの制御分野の実習としては，２年次において「パソコン１」「パソコン２」「制御１」「制御２」「制御３」，３年次において「制御」という実習項目で位置づけられていた。平成 12 年度以降においては３年次の実習項目「制御」の一部は「ＰＣによる制御」に置き換えることとなった。

7　シーケンサを利用した制御実習手引書の作成

(1)　方針

ＦＡシステムを利用しての実習では他分野の技術が融合したものであることを踏まえて，それぞれの分野の調和を図りつつ，総合的･合理的に問題解決を図ろうとする能力と態度を育てることが大切である。そこで，今回本校のＦＡシステムの導入にともない，コンピュータやＰＣによる制御実習が容易にできるようになり，２・３年の「実習」を通して，系統的かつ「課題研究」などにも活用していける実習手引書の作成が必要となった。

以上のことを念頭におきながら実習手引書の作成編集を行う。

(2)　留意点

① ＰＣの基本的な機器の取り扱い，ラダー回路図作成，入出力機器の接続方法も含め実際に活用できる基礎的技術を習得させる。

② プログラミングソフトの簡易取扱書を図入りでわかりやすく作成する。

③ シーケンス制御の原理についても，実際の回路を通して体験的に理解させる。

④ 基本的な機器の取り扱いを通して，シーケンス制御の基礎や基本的要素の機能について理解させ，実際に活用できるようにする。

⑤ 自ら対象物の動作制御を学べるように，ラダー回路図作成も基礎からステップアップしていくようにする。

⑥ 単体機器の動作確認及び制御からそれらを組み合わせたユニットや，システムの制御までを系統的に学べるよう心がける。

(3)　実習手引書の目次

実習手引書の全体構成を目次で図 13 に示す。系統的な実習が展開できるように章単位でファイルを保存している。手引書作成の場合，機器の組み合わせに応じたファイルを利用し実習手引書を作成する。

第１章　テーマ・目的
　第１節　単体機器編
　第２節　ユニット編
　第３節　システム編
第２章　基礎知識
　第１節　シーケンス制御
　第２節　コイルとリレー
　第３節　接点
　第４節　シーケンサ
　第５節　基本的回路
　第６節　禁止回路
第３章　使用機器（名称・型番・写真）
　第１節　コントロール部
　第２節　アクチュエータ部
　第３節　センサ部
　第４節　メカニズム部
　第５節　関連機器及び付属品
第４章　実習手順
　第１節　初級編（単体機器の制御）
　第２節　中級編（単体機器の組み合わせﾕﾆｯﾄの制御）
　第３節　上級編（ﾕﾆｯﾄの組み合わせシステムの制御）

付録
プログラミングソフトの簡易取扱書
プログラム作成法
自走ロボットの製作

図13　実習手引書の目次

(4)　項目抜き出しによる手引書作成（抜粋）

① 基礎知識

制御実習４（ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾏﾌﾞﾙｺﾝﾄﾛｰﾗを利用した制御）

Ⅰ．目的

１．ラダー図を用いシーケンサ制御の基本的動作を理解する。
（１）自己保持回路　（２）ｲﾝﾀｰﾛｯｸ回路　（３）補助ﾘﾚｰ回路　（４）ﾀｲﾏ回路

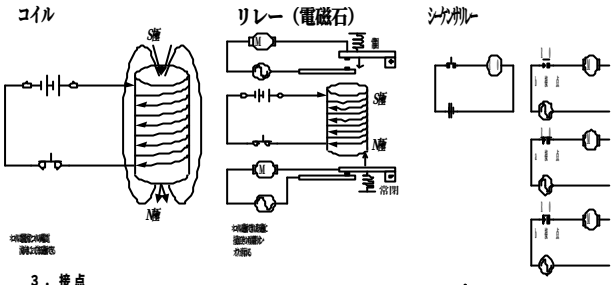
２．[1] で理解した基本的回路を応用しリバーシブルモータと P&P（Pick & Place）機器を使ってユニット（両方を組み合わせ）を組み、その制御を行う。

Ⅱ．基礎知識

１．シーケンス制御とは

あらかじめ決められた順序に従って、動作を逐次制御すること。
例：洗濯機・エレベータ・工場の自動化（ビール工場・パン工場・製菓工場）等

２．コイルとリレーの仕組み



３．接点

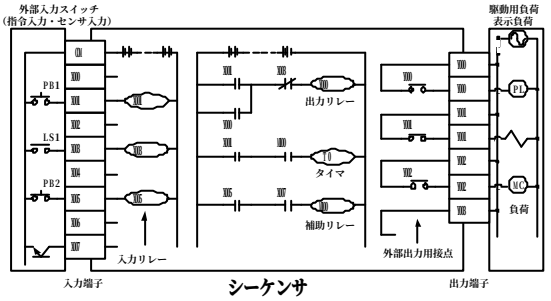
a接点　　**b接点**

＊スイッチを押すとオンになる。（信号が入るとオンになる）　**＊スイッチが入るとオフになる。（信号が入るとオフになる）**

図　14

② シーケンサ内の信号の流れ

４．シーケンサの信号の流れ



（１）　部入力[PB1]のスイッチをオンにすると、入力リレーの[X001]（コイル）がオンとなる。

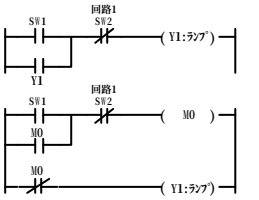
（２）　続いて回路の接点[X001]がオンになる。接点[X003]はオフ（ｂ接点）なので出力リレー（コイル）[Y000]が導通しオンとなる。

（３）　次に、外部出力用接点[Y000]がオンとなり、信号が流れ、負荷が動作する。

５．基本的回路

（１）自己保持回路

出力コイルと同じ接点を１つの回路ブロックの中で　OR　接点に使い出力コイルが　ON　すると同一接点が動作し、同一接点が動作することで出力コイルが　ON　し続けることを自己保持するという。



②外補

タイマはコイルが駆動してから掲示を開始する。タイマカウント数が設定値に達した（タイムアップ）時にタイマ接点が動作する。

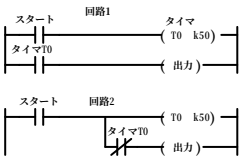
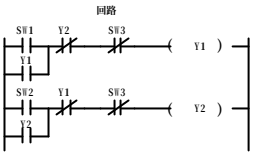


図　15

③ 基本的回路,禁止回路

(3) インタロック回路

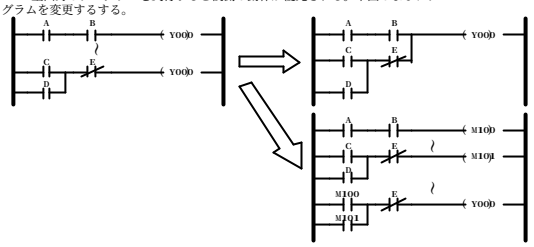
他の回路を遮断して信号を止めることをインタロックといいます。
インタロックは回路プログラムの安全性や確実性を高める上で必ず必要になります。



6. 禁止回路

(1) 二重出力

二重出力のプログラムを実行すると後側の動作が優先される。下図のようにプログラムを変更するする。



7. 例題によるGPPW（シーケンスプログラム作成ソフト）を利用してのラダー回路作成及びプログラム作成法

例題　　モータの正転・反転をさせるシーケンスプログラムを作成する。
但し、X0　：スタートSW　　X2　：ストップSW　　X3　：リッミッタSW
Y0　：モータ正転　　Y1　：モータ反転　　の入出力とする。

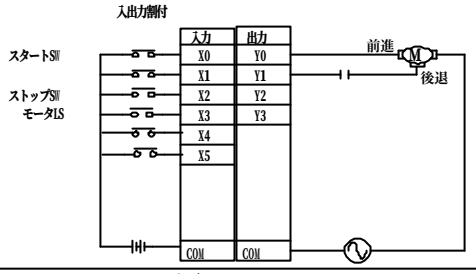
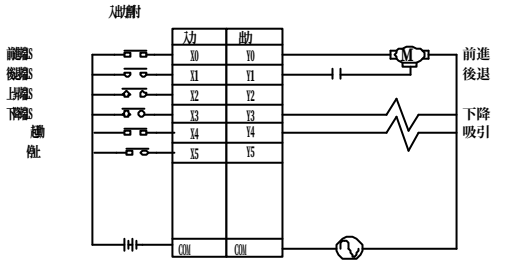


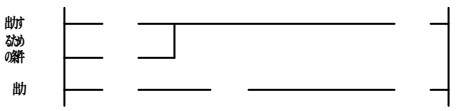
図　16

④ 入出力割付表

入出力割付



課題１　スタート SW（X4　）を押すと、ユニットを前進させる（Y0　）ラダー図を考える。
ただし、前進端 LS（X0　）において停止するものとする。
ラダー図を書いてみよう



プログラムを転送し、動作の確認をする。

課題２ 前進端LS（X0）の信号が入ると、Z 軸ﾊﾝﾄﾞﾘﾝｸﾞﾛﾎﾞｯﾄを下降（Y3）させる。
ただし、下降端 LS（X3）において停止する。

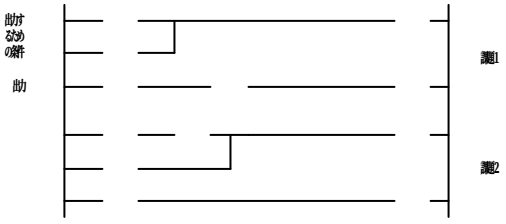


図 17

⑤　図 18 では使用機器や実習内容の動作行程を分かり易くするため写真を多く取り入れた

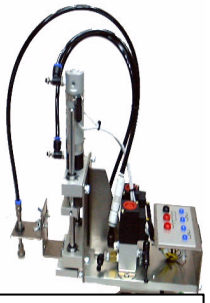
Ⅲ. 実　　験

1.使用機器

シーケンサ

ターミナルI/0ボックス

コンプレッサ



Z軸ﾊﾝﾄﾞﾘﾝｸﾞﾛﾎﾞｯﾄ

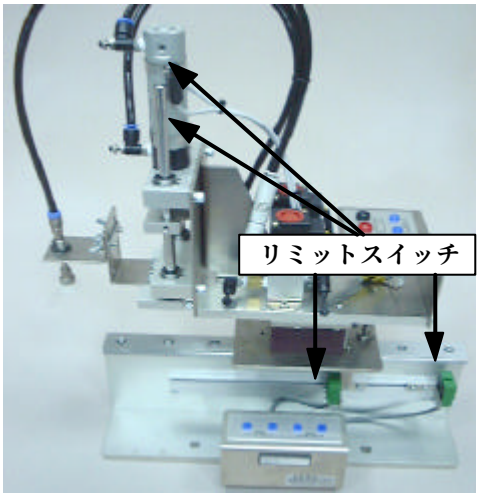
ラック&ピニオ

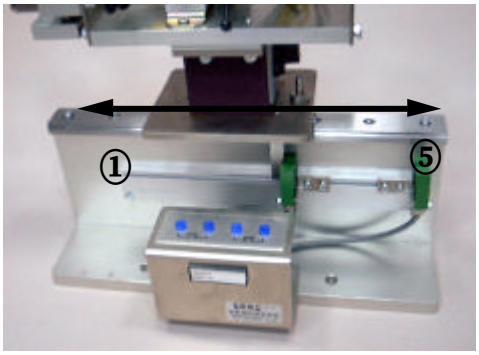
モータ

直進テーブル

2.実習課題

P & P (Pick & Place)ユニットを構成し,以下に示す動作行程にごとにプログラムを作成する。





①ユニットの前進
②下降
③吸引（Pick）
④上昇
⑤ユニットの後退
⑥下降
⑦吸引解除（Place）
⑧上昇

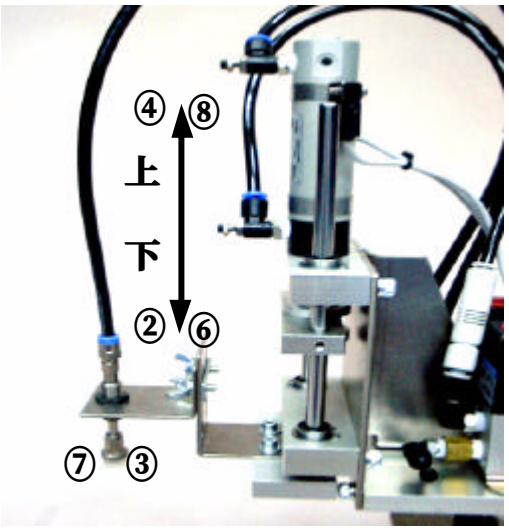


図 18

Ⅲ　授業設計

１　　単元名

ＰＣ（Programmable Controller）を利用した制御

２　　単元の設定理由

（1）　　教材観

今日，生産の自動化を図るＦＡ（Factory　Automation）が注目を浴びるようになっており，さまざまな形態のコンピュータによる制御がある。その中でＰＣ（Programmable Controller）は，制御分野に幅広く活用されているＣＰＵ内臓の小型専用コンピュータである。電気関係の専門高校生にとって，制御学習の一形態としてこのＰＣによる制御の学習も必要であるものと考える。

本単元ではＰＣを使って制御実習を行うことにより，シーケンス制御における基礎的な知識と技術の習得を図る。

（2）　　生徒観

１・２学年ではコンピュータの基礎や，情報処理の基礎，電気機器の運転と特性，電気・電子計測，プログラム言語などについて学習している。今回の設備更新に伴う実習内容の見直しから，今年度はコンピュータによるプログラム制御について，ＰＣによる制御実習を取り入れ，学習させたい。

本校生徒は，自分でプログラムを作成し制御対象物を制御する。それにより，その対象物に思いどおりの動作をさせる行程を実感することにより，段階を追って逐次すすんでいくシーケンス制御に興味・関心を示すと思われる。

（3）　　指導観

本単元では，新しいコンピュータ制御の技術といえるＰＣのあらましを理解させる。

制御のためのラダー図の作成とＰ＆Ｐ（Pick　& Place）ユニットの制御を通して，彼らが今まで直接触れることの少なかったシーケンス制御への関心を高めさせ，その基礎的な知識と技術の習得を図る機会としたい。

３　　単元の指導目標

実習手引書と板書，図，説明，による資料提示を通してシーケンス制御の基本知識を学習させると共に，シーケンス制御の基本的な考え方である自己保持回路等の基本的な回路を理解させ，自らシーケンス回路を組み動作確認することで，次回以降の発展した制御実習に興味・関心を持って取り組めるようにしたい。

４　　指導計画と配当時間

中単元：シーケンス制御（５回×４時間）のうちの，本時は第４回目

週	時間	実　習　内　容
１	４ｈ	単元：リバーシブルモータの回転 ① シーケンス制御について学習する ② コイルとリレーについての学習 ③ 接点についての説明 ④ シーケンサの信号の流れについての学習 ⑤ 基本的な回路の学習 自己保持回路・インタロック回路・タイマ回路・フリッカ回路など ⑥ シーケンス作成ソフトを利用してのラダー回路図作成及びプログラム作成法（例題使用）
２	４ｈ	単元：Ｚ軸ハンドリングロボットの空気圧制御 前回の実習を発展させる
３	４ｈ	単元：各種機器（光電センサ・リミットスイッチ）を利用しての制御 前回の実習を発展させる
４	４ｈ	単元：プログラマブルコントローラを利用した制御 －P&P（Pick & Place）ユニットの制御－ ① コイル・リレー接点基本回路について復習 ② 禁止回路についての学習 ③ 入出力割付について ④ 実態配線図 ⑤ 課題説明 ⑥ 課題１から課題７まで順々にプログラム作成・実行・確認 ⑦ まとめ
５	４ｈ	単元：小規模なシステムを組んでの制御 機器相互間の信号のうけわたしを学習する

5　本時の学習指導

(1)　主題名

ＰＣを利用した制御

(2)　指導目標

今回作成した実習手引書を使用し，Ｐ＆Ｐユニットの制御ができる。

(3)　行動目標

制御の意味を理解するとともに，実習機器を正しく結線し，ラダー図が書け，パソコンの操作とＰＣの扱いができること。

(4)　下位目標

①　実習を通して，入出力機器を区別できること。

②　シーケンス制御の基本回路がわかること。

③　入出力割付表を作成できること。

④　ラダー図が書けること。

(5)　本時の展開

時間	学習の流れ	教師の活動	生徒の活動	下位目標	備考
導入15分	本時のテーマ・目的	本時の目的を提示する	本時の目的を確認		実習手引書配布
	本実習における基礎知識	シーケンス制御とは ・シーケンス＝逐次･順々に ・制御＝コントロール 言葉を2つに分けて考えさせる 身近な例でシーケンス制御を説明する ほかにどのような例があるか質問する 問いに対しての答えが不十分であれば補足を加える	シーケンス制御の意味を理解する 洗濯機の動作行程を順次考えていくことで理解する エレベータ･工場のラインシステム		
展開35分		コイルとリレーの仕組みの説明 〈電磁石も含む〉 電磁石での可動片の動きはどうなるか	リレーの仕組み及び概念を知る 可動片〈接点〉の動きを理解する		拡大掲示物による説明
		接点についての説明（ａ接点･ｂ接点） シーケンサの信号の流れを説明 シーケンサの図内にラダー回路図を入れ込んで説明	回路図を追っていく	②③	拡大掲示物による説明
		基本的な回路説明 ・自己保持回路 ・タイマ回路 ・インタロック回路の説明 禁止回路とその対処の仕方を説明	自己保持の時とそうでない時の回路の比較をし，違いを理解させる タイマ・インタロック回路を理解させる	②④	拡大掲示物による説明 拡大掲示物による説明
実習展開135分	プログラミングソフトの取扱い	例題を基にラダー回路図作成を行う 入出力割付を提示 実態配線図の説明 サンプルのラダー回路図をプログラミングソフトの操作手順に従い作成する 個別にアドバイスしながら机間巡視 動作確認をさせる 誤動作・不動作の生徒には適切なアドバイスし，再度動作確認をさせる	提示条件に従い入出力割付を行う 機器を揃え配線を行う ラダー回路図をプログラミングソフトを使用し作成する 動作確認をする	①④ ③ ①④	入出力割付表配布 実態配線図配布

		実習課題の内容説明 入出力割付を提示 課題1の説明をしラダー回路図を作成させる プログラムミングソフトを使用しラダー回路図を作成させる 動作確認をさせる 以下課題7まで同様	入出力割付を行い 機器を揃え配線を行う ラダー回路図を考える ラダー回路図をプログラム作成ソフトGPPWを使用し作成する 動作確認をする	③	
まとめ15分	まとめ	本実習で学ぶべきことの確認（復習） 質問の時間を与える 反省・感想を記述させる	反省・感想を 記述させる		

6　　実習手引書の検証

今回「総合的・合理的に問題解決を図ろうとする能力の育成とともに，系統的に学んでいける実習手引書の作成」を目指して取り組んだ。

実習においては，ラダー回路による基本的回路の学習後，図入りの手引書を参考にしながらプログラミングソフトを利用し，ラダー回路図の作成やプログラム変換も容易に行っていた。このことより基本的回路の説明時においては，異なった回路の提示･比較をすることで理解が深めらていた。また，プログラミングソフトの簡易取扱説明書にソフト画面のコピーを多く取り入れたことがソフト操作をスムーズにしたものと考える。

ＰＣ及び入出力割付表を利用しての入出力の関係や回路説明の折，信号の流れるルート等の質問に生徒たちが的確に答えており，機器配線もスムーズにこなしていた。拡大掲示物による説明が効果をあげたと考える。

基本的回路の説明の時には異なった回路を提示・比較することにより，理解を深めていた。

実習手順も行程ごとに区切ってステップアップ式にしたので生徒たちのプログラム作成も早く処理できていた。このようにプログラムを動作行程ごとに細分化することにより，機器動作も把握でき行程ごとの基本的回路の理解にもつながり，システム全体においてもプログラム同士のつながりなど理解が深められた。

以上のことより，基本的な機器の取扱い・ラダー回路図・入出力機器の接続・プログラミングソフトの取扱いについては，理解を深めたと思慮する。このことから，実習手引書の作成においては「シーケンス制御の基礎・基本を理解し，その基礎的技術を習得させる。」という点においては良い結果が得られたと判断した。

以下に実習風景を示す。

写真１は実習機器の動作説明をうけラダ－回路図の作成を行っている実習風景である。

写真１　ラダ－回路図作成風景

写真２に自らシーケンス回路を組み動作確認を行っている実習風景を示す。

写真２　実習機器配線風景

写真３は生徒が入出力割付に従い，機器配線を行った後，確認を行っている写真である。

写真３　機器配線確認風景

写真４は実際に機器配線をした後，自分たちが作成したプログラムをシーケンサに転送し動作確認を行っている様子である。

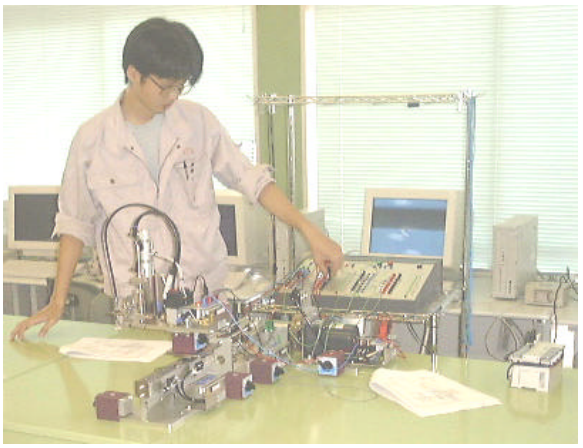


写真４　動作確認風景

Ⅳ　まとめと今後の課題

本研究においては，「工業の各分野に関する基礎的な技術を実際の作業をとおして，総合的に習得させ，技術革新に主体的に対応できる能力と態度を育てる」ことを目的に実習手引書の作成に取り組み研究を進めてきた。

実習手引書の作成においては，「シーケンス制御の基礎・基本」・「プログラミングソフトの取扱い」・「回路図作成」など６つの留意点に注意しながら取り組んできた。

特に重点をおいたのが「単体機器の動作確認及び制御からそれらを組み合わせたユニットや，システムの制御までを系統的に学べるよう心がける。」であったが，基礎・基本から応用まで系統的なものであるため，一部分だけの検証授業では確認することは難しく，学校現場へ戻ってからの継続的な確認が必要である。

自動化システムの特徴である「単体機器の組み合わせ」ということに着眼すると，何通りもの実習を組み立てることができるので，どのようにこの実習手引書をまとめるかが難点であった。

今後の課題としては機器の組み合わせに応じたプログラムの蓄積が必要性である。

今回本テーマについての内容を探求していくに従いシステムにおいての機械分野からの視点・制御分野からの視点をいろいろ学ぶことができた。ただ一つの分野からだけの視点のおき方だけではシステムの構成を考える場合難しいことがわかった。

今後もいろいろな分野に目を向け，研究・検討を継続していきたいと考える。

＜主な参考文献＞

熊谷　卓	1997	『実践　自動化機構図解集』	日刊工業新聞社
三菱電機（株）	1997	『FX２　ハンディマニュアル』	三菱電機（株）
三菱電機（株）		『新・よくわかるシーケンサ（入門編)』	三菱電機（株）
三菱電機（株）		『新・よくわかるシーケンサ（リレーラダー編)』	三菱電機（株）
三菱電機（株）		『新・よくわかるシーケンサ（ステップラダー編)』	三菱電機（株）